



HEVs

haute école valaisanne
hochschule wallis
ingenieurwissenschaften

Données du travail de diplôme
Daten der Diplomarbeit

FD 2.02.07.08
DD 18/06/2006

Systemtechnik

Année scolaire / Schuljahr
2005/06

No TD / Nr. DA SI2306/12

Studiengang Systemtechnik

Vertiefungsrichtung Power & Control

Diplom 2006



HEVs

Route du Rawyl 47
1950 Sion 2

haute école valaisanne
hochschule wallis

Daniel Lambrigger

*Heizenergie als Funktion der
Außentemperatur und der
Sonnenbestrahlung*

Dozent

Michel Bonvin

Experte

Frédéric Revaz

HES-HEVS-T (Sion)



EM000005224528

Sitten, 24. November 2006

SI/2006/12

Hes-so

Haute Ecole Spécialisée
de Suisse occidentale
Fachhochschule Westschweiz
University of Applied Sciences
Western Switzerland



Diplomarbeit

24. November 2006



Heizenergie als Funktion der Aussentemperatur und der Sonnenbestrahlung

Dozent

Dr. Bonvin Michel

Student

Lambrigger Daniel

Experte

Frédéric Revaz

1 INHALTSVERZEICHNIS

1	<i>Inhaltsverzeichnis</i>	<i>1</i>
2	<i>Einleitung</i>	<i>1</i>
2.1	Projektbeschreibung	1
2.2	Verlauf der Diplomarbeit	1
3	<i>Energie-Signatur</i>	<i>2</i>
3.1	Beschreibung	2
3.2	Was sagt sie alles aus?	3
3.3	Heizenergie-Entwicklung	3
3.3.1	MINERGIE-Labels	4
3.3.2	Sonneneinstrahlung	4
3.4	Heizenergie-Simulation mit bSol	5
4	<i>Problem der Energie-Signatur</i>	<i>6</i>
4.1	Erklärung	7
4.1.1	Behauptung	7
4.1.2	Kontrolle mit bSol	7
5	<i>Simulation</i>	<i>8</i>
5.1	Beschreibung EFH	8
5.2	Beschreibung MFH	9
5.3	Neue Darstellungen	10
5.3.1	Variablen-Deklaration	10
5.3.2	G_h	10
5.3.3	$G_{v,süd}$	11
5.3.4	$G_{v,tan}$	11
5.3.5	$G_{K_h, K_{vs}}$	12
5.3.6	M_{norm} und H_{norm}	12
5.3.7	Optimaler κ -Werte	12
5.3.8	Quadratsumme der Abstände	13
6	<i>Vergleich der Quadratsummen</i>	<i>14</i>
6.1	Einfamilienhaus	15
6.2	Mehrfamilienhaus	16
6.3	Fazit	17
7	<i>Standort Meteostation</i>	<i>17</i>
7.1	Simulation	18
7.2	Fazit	19
8	<i>Wärmespeicher-Trägheit</i>	<i>20</i>
8.1	Simulation	20
8.2	Fazit	21
9	<i>Vergleich mit Messungen</i>	<i>22</i>
9.1	Collège des Creusets	22
9.1.1	Beschreibung	22
9.1.2	Energie-Signatur	23

9.2	Centre d'entretien de l'Indivis	24
9.2.1	Beschreibung	24
9.2.2	Energie-Signatur	24
9.3	Centre sportif	25
9.3.1	Beschreibung	25
9.3.2	Energie-Signatur	25
9.4	Fazit	26
9.5	Weiterführende Studien	27
9.5.1	Kälteenergieverbrauch	27
9.5.2	Untersuchung von METEONORM	27
9.5.3	Aufteilung in Regionen	27
9.5.4	Programmidée	27
10	Schlussbemerkungen	28
11	Abbildungsverzeichnis	29
12	Quellenverzeichnis	30
13	Anhang	31
13.1	Anhang 1	32
13.2	Anhang 2	33
13.3	Anhang 3	34

2 EINLEITUNG

2.1 PROJEKTBE SCHREIBUNG

Titel: Heizenergie als Funktion der Aussentemperatur und der Sonnenbestrahlung

Für ein konventionelles Gebäude zeigt die übliche Darstellung der Heizenergie als Funktion der Wochen-Mittelwerte der Aussentemperatur ein geradliniges Verhalten. Für ein Gebäude mit geringem Heizenergieverbrauch erwartet man, dass die Strahlungseffekte einen relativ grösseren Einfluss haben, mit dem Effekt, dass die Streuung um die Regressionsgerade viel grösser wird.

Das Ziel dieser Arbeit besteht darin, die Strahlungseffekte quantitativ zu untersuchen und, anstatt eine Darstellung mit Hilfe der Aussentemperatur zu benutzen, eine Darstellung durch eine Grösse vorzuschlagen, die eine Zusammensetzung der Temperatur und der Strahlung ist.

Es soll zuerst eine theoretische Überlegung gemacht werden, um die geeignete Grösse zu bestimmen und anschliessend, einen Vergleich mit Messwerten durchgeführt werden.

2.2 VERLAUF DER DIPLOMARBEIT

Auf dem untenstehenden Diagramm sieht man, wie meine Diplomarbeit aufgebaut war. Am Anfang hatte ich mich in das Thema der Energiesignatur, d.h. die Darstellung der Heizenergie in Abhängigkeit der Aussentemperatur eingearbeitet.

Danach machte ich verschiedene Simulationen einzelner Gebäude mit ihren jeweiligen Heizenergieverbräuchen und versuchte diese dann optimal, mit Berücksichtigung der Sonneneinstrahlung, darzustellen. Dies war der zeitaufwendigste Abschnitt der Arbeit.

Die herausgefundenen Erkenntnisse der Simulation versuchte ich dann in realen Gebäuden, wo man die Heizenergie verfolgt und aufgelistet hat, auch wiederzufinden. Wobei ich auch hier dieselbe Darstellungsart mit der Sonneneinstrahlung nutzte wie bei den Simulationen.

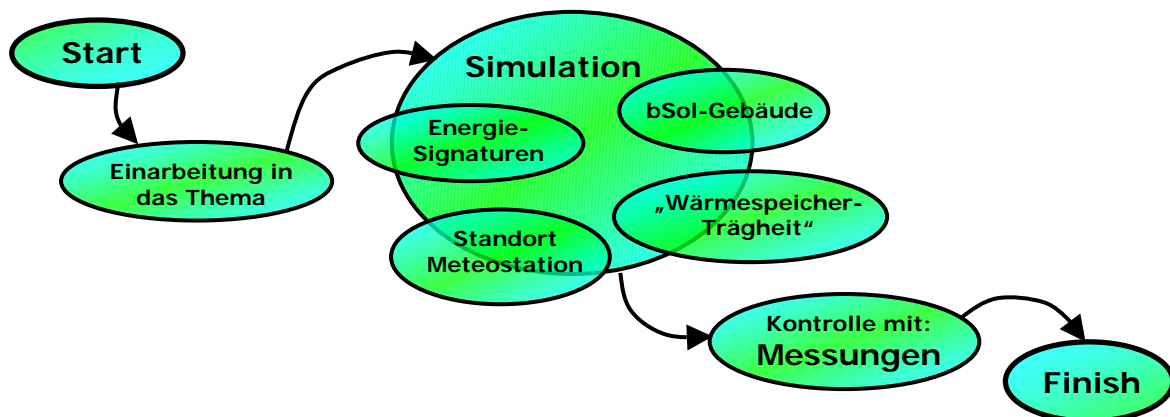


Abbildung 1: Verlauf der Diplomarbeit

Der Bericht ist so gestaltet, dass der Leser fortlaufend mitverfolgen kann, wie die Arbeit verlaufen ist und wo allfälligen Probleme entstanden.

3 ENERGIE-SIGNATUR

3.1 BESCHREIBUNG

Die Energiesignatur ist die wichtigste Darstellungsform zur Beurteilung des Heizenergieverbrauchs eines Gebäudes, das sogenannte Energiecontrolling. Diese Grafische Darstellung wird vielerorts zur Wärmeüberwachung eingesetzt. Der Wochenwert des Heizenergieverbrauchs wird gegen den Wochenmittelwert der Aussentemperatur aufgetragen. Dies ergibt ein geradliniges Verhalten der eingetragenen Punkte. Was ja auch zu erwarten wäre, weil je kälter es ist, desto grösser wird normalerweise auch der Heizenergieverbrauch.

Wichtig ist nun, dass die Budgetbänder eingetragen werden, somit sieht man, ob man über oder unter dem budgetierten Heizenergieverbrauch steht. Falls jetzt z.B. eine automatische Fensterschliessung defekt ist, sieht man an der Energie-Signatur für diese Woche einen Anstieg der Heizenergie. Somit kann man die Heizenergie überwachen und verschiedene Aussagen über das Gebäude formulieren.

Man kann auch noch die Energie für den Kältebedarf eintragen, welcher auch ein geradliniges Verhalten aufweist. Da ja auch hier die Regel stimmt, je wärmer es wird, desto grösser wird der Kühlenergieverbrauch.

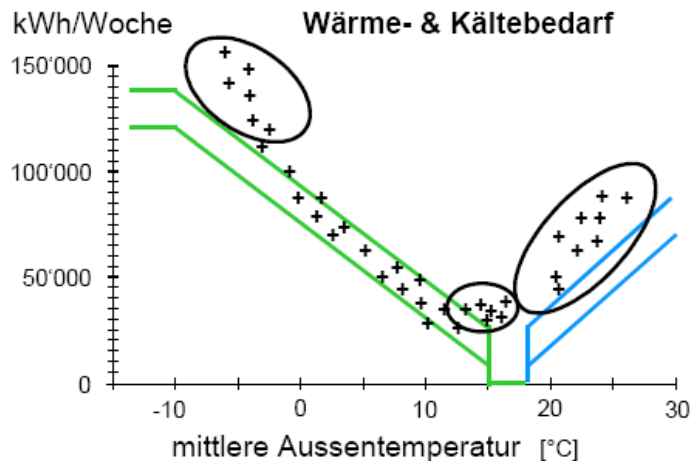


Abbildung 2: Beispiel einer Energiesignatur

Man sieht jetzt auf dieser Energie-Signatur, dass z.B. im mittleren kleinsten Kreis, die Heizenergie über den budgetierten Werten liegen. Somit heizt unser Gebäude um die 15°C mittlere Aussentemperatur zuviel und man sollte die Regelung der Heizung einmal überprüfen und vielleicht anders regeln.

3.2 WAS SAGT SIE ALLES AUS?

Es gibt fünf verschiedene Aspekte über welche man, durch diese Energie-Signatur Darstellung, Aussagen machen kann:

1. Wie dicht ist das Gebäude? Bei abnehmender Aussentemperatur steigt der Verbrauch überproportional an, dies ist ein typisches Zeichen für eine undichte Gebäudehülle. Wo liegt die tatsächliche Heizgrenze des Gebäudes?
2. Bereits eine Woche nach der Inbetriebnahme ist ein erster Schätzwert für den tatsächlich zu erwartenden Verbrauch verfügbar. Nach jeder zusätzlichen Woche wird der Schätzwert genauer. Auch bei Optimierungsmassnahmen ist sie nützlich: Der tatsächliche Erfolg kann bereits nach einer Woche abgeschätzt werden.
3. Falls der Budget-Wert für den Jahresenergieverbrauch eingetragen wurde, kann aufgrund der Differenz zwischen Ist- und Sollwert, abgeschätzt werden ob bei Optimierungsmassnahmen der Aufwand zum Ertragsverhältnis kostenmässig stimmt.
4. Geht es um Objekte mit Fernwärmeanschluss, lässt sich die tatsächlich benötigte Leistung sehr genau schätzen. Durch eine Neuverhandlung des Leistungstarifs können oft beträchtliche Kosten eingespart werden.
5. Schliesslich sind Werte, welche in die Energie-Signatur eingetragen wurden, automatisch Heizgradtagbereinigt. Eine sogenannte Witterungsbereinigung erübrigt sich. Die wochenweise Darstellung hat auch den Vorteil, dass betriebsinterne Zufälligkeiten über eine Woche ausgemittelt werden.

3.3 HEIZENERGIE-ENTWICKLUNG

Durch die stetige Entwicklung der Isolations- und Baumaterialien und derer Optimierung, konnte der Energieverbrauch für eine Heizung immer wieder verringert werden. Wenn man ein Einfamilienhaus (EFH) mit Mauern-, Fenster- und Isolationsmaterialien aus dem Jahre 1980 nimmt und diesem gegenüber ein gleiches Haus mit modernen Baustoffen von 2006 stellt, mit integrierter Wärmerückgewinnungsanlage, sieht man, dass der Heizenergieverbrauch nur noch ca. zwischen einem Fünftel oder einem Viertel, vom Verbrauch von 1980 ausmacht.¹

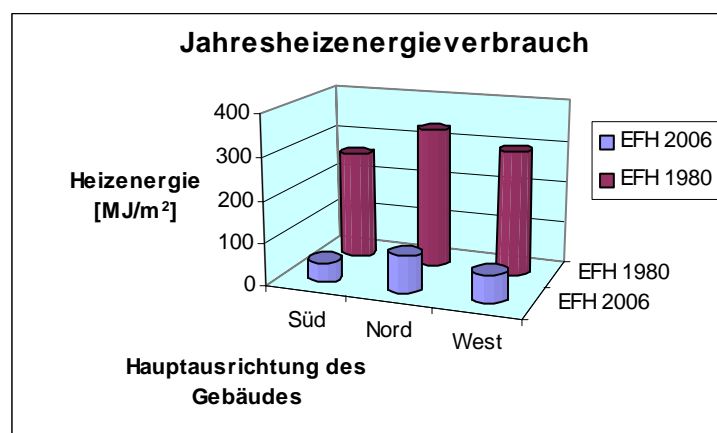


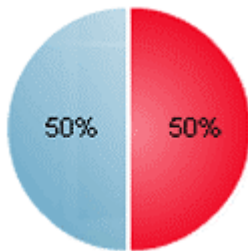
Abbildung 3: Jahresheizenergieverbrauch für ein EFH 1980 und 2006, mit verschiedenen Hauptfassadenausrichtungen: Süd, Nord und West

¹ Werte wurden übernommen von den Simulationen der EFH und MFH in bSol

3.3.1 MINERGIE-Labels

Um den Energieverbrauch weiter zu verringern, wurden diverse Energie-Label (z.B. MINERGIE) eingeführt. Diese schreiben Mindestanforderungen für die verschiedenen Gebäudetypen vor und somit natürlich auch eine Mindestanforderung des Heizenergieverbrauches.

Laut dem Bundesamt für Energie, braucht ein Dienstleistungsgebäude, nach MINERGIE-Standard nur noch rund die Hälfte der Heizenergie eines Neubaus nach den heutigen gesetzlichen Mindestanforderungen. Auch das Einfamilienhaus, sowie das Mehrfamilienhaus, weisen eine Verringerung des gesamten Energieverbrauchs von rund 50% auf, zu den Mindestanforderungen mit dem MINERGIE-Standard-Label.



Ein Industriegebäude, nach MINERGIE-Standard braucht sogar nur noch rund 1/3 der Heizenergie eines Neubaus nach den momentanen Mindestanforderungen.

Abbildung 4: Verringerung des Energiebedarfes eines EFH und MFH mit MINERGIE²

3.3.2 Sonneneinstrahlung

Bei den modernen Gebäuden wird nun auch vermehrt auf die sogenannte Solararchitektur geachtet. Dies heisst dass man das Ziel hat, die Sonnenwärme durch die Einstrahlung im Gebäude zu speichern. Dies realisiert man mit grossflächigen Fenstern, welche die Eigenschaft haben, die Wärme der Sonneneinstrahlung hinein zu lassen, jedoch die Wärme im Innern des Gebäudes zu speichern.

Somit wurde im Laufe dieser Entwicklung der Solararchitektur und diesen speziellen Fenstern, die Abhängigkeit der Heizenergie von der Sonneneinstrahlung auch grösser. Denn man versucht mit diesen Gewinnen der Sonnenenergie die Heizenergiekosten zu senken, dieses Prinzip vertreten auch die MINERGIE-Labels.

Damit wird also der Heizenergieverbrauch neben der starken Abhängigkeit zu der Aussentemperatur, auch noch zusätzlich mehr oder weniger abhängig von der solaren Einstrahlung.

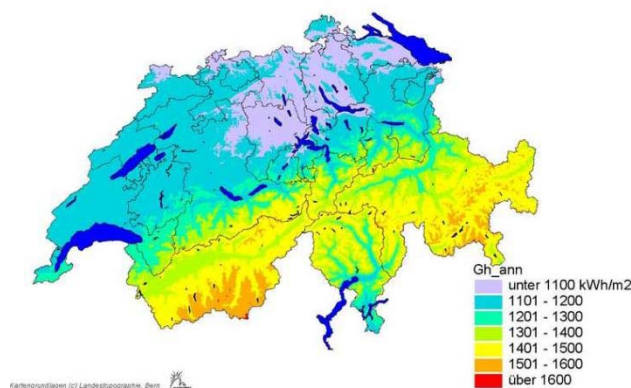


Abbildung 5: Solarstrahlung (Global, Horizontal) in der Schweiz³

Wie auf der Abbildung 3 ersichtlich ist, ist die Sonneneinstrahlung in der Schweiz nicht überall gleich und man benötigt spezielle Wetterstationen um die globale, horizontale Sonneneinstrahlung zu messen. Dies alles zeigt klar auf, dass der Heizenergieverbrauch im Laufe der Zeit stark abgenommen hat und man sich immer weiter bemüht, diesen noch zu verringern.

² Angaben von www.bfe.admin.ch

³ Grafik von www.swissolar.ch

3.4 HEIZENERGIE-SIMULATION MIT BSOL

Mit der Software bSol, was für „bien construire avec le soleil“ steht und welches von der Energieabteilung der HEVs entwickelt wurde, kann man die Heizenergie pro Jahr für ein Gebäude simulieren lassen. Das Gebäude lässt sich komplett eingeben mit den verschiedenen Baumaterialien für Mauern, Böden und Fenstern. Auch die jeweilige Ausrichtung lässt sich verändern, somit wird eine südgerichtete Hauptfassade mit grossen Fenstern mehr Sonnenwärme hineinlassen, als bzw. ein nordgerichtetes Haus. Auch die Betriebsparameter lassen sich konfigurieren, so hat ein älteres Gebäude mit alten Geräten mehr innere Gewinne als im Vergleich zum neueren Haus mit moderneren und leistungssparenden Apparaten.

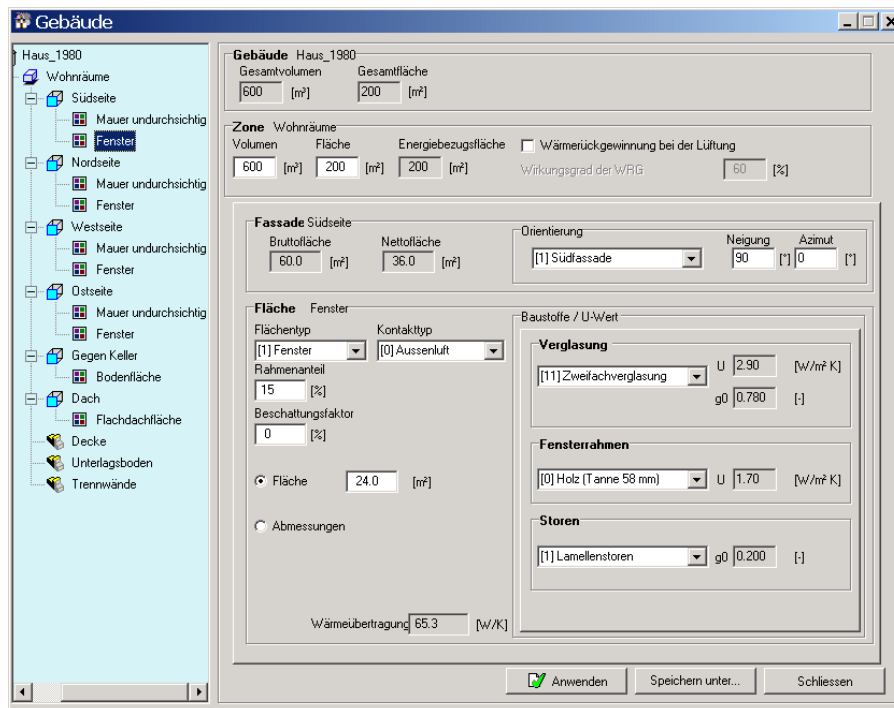


Abbildung 6: bSol Gebäudeeingabe-Beispiel EFH (1980)

Das Programm berücksichtigt Meteodateien welche die Sonneneinstrahlung und die Aussentemperatur der typischen Werte für die ausgewählte Region enthält. Die Meteodateien werden generiert von METEONORM, dies ist eine Software von der Schweizerfirma METEOTEST in Bern. bSol berechnet so die aufgewendeten Heiz- oder Kälteenergiewerte für jede Stunde über ein ganzes Jahr. So lassen sich verschiedene Heizenergieverbräuche simulieren, für alte sowie für moderne Gebäude.

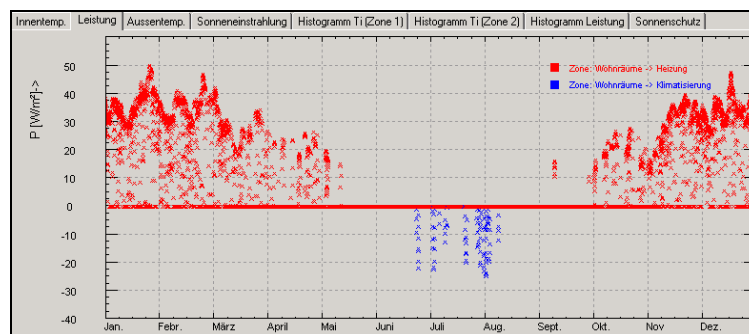


Abbildung 7: Heiz- und Kälteleistung Anzeige in bSol für ein Jahr

Diese Heizleistungswerte lassen sich in einer Datei einfach aus dem bSol heraus exportieren. Somit eignet sich dieses Instrument also hervorragend, um für uns einen Heizenergieverbrauch für ein jeweiliges Gebäude zu simulieren.

4 PROBLEM DER ENERGIE-SIGNATUR

Das eigentliche Problem stellen für uns die modernen Häuser dar, welche eine bessere Gebäudehülle besitzen. Die Fenster lassen mehr Sonnenstrahlung hinein, speichert aber dabei gleichzeitig die Wärme im Innern des Hauses, die Isolation der Aussenwände ist besser, usw.

Bei diesen modernen Gebäuden ist bekanntlich die Heizenergie kleiner und die Streuung um die Trendgerade wird bei modernen Gebäuden auch grösser. Das geradlinige Verhalten der einzelnen Punkte wird fast nicht mehr erkennbar und somit kann man nicht mehr viele Aussagen in der Energie-Signatur-Darstellung machen. (Heizenergie H und Aussen-temperatur T_{ext} entsprechen jeweils den Wochenmittelwerten)

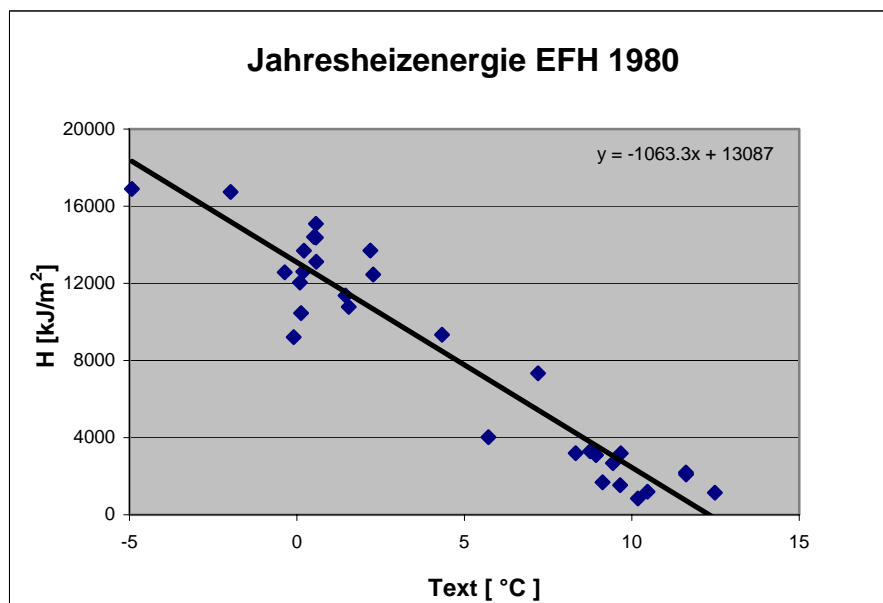


Abbildung 8: Älteres EFH (1980)

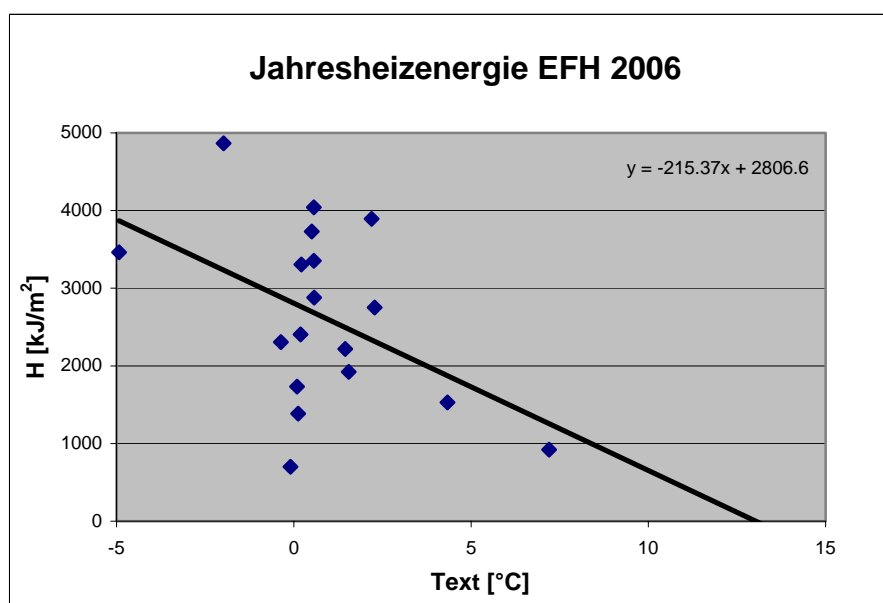


Abbildung 9: Modernes EFH (2006)

4.1 ERKLÄRUNG

4.1.1 Behauptung

Da bei modernen Häusern auf die Solararchitektur vermehrt Rücksicht genommen wird, wirkt sich die Sonneneinstrahlung stärker auf die Menge der Heizenergie aus.

4.1.2 Kontrolle mit bSol

Nachdem ich nun ein zweistöckiges Einfamilienhaus mit bSol simuliert habe, nahm ich die Heizenergie für den Monat Februar genauer unter die Lupe. Weil dann die Aussentemperatur ungefähr den gleichen Mittelwert während dem Monat hat und man so sieht wie sich die Heizenergie in Abhängigkeit der Sonneneinstrahlung verhält.

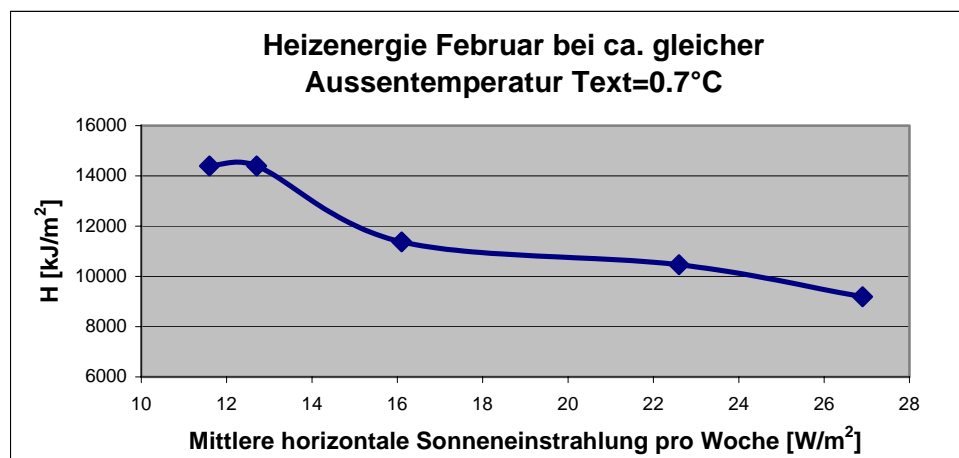


Abbildung 10: Heizenergie für den Monat Februar

Man erkennt an der Grafik, dass falls die Heizenergie kleiner wird, auch die horizontale Globalsonneneinstrahlung grösser ist für diese Woche, bei gleichbleibender Aussentemperatur.

Dies beweist unsere Behauptung, dass zwischen der Aussentemperatur und der Heizenergie ein weiterer Zusammenhang besteht, nämlich den der Sonneneinstrahlung. Welche natürlich einen dominanteren Einfluss auf die Heizenergie hat bei den modernen Gebäuden, da diese sensibler auf diese solare Einstrahlung reagieren.

Dies erklärt also die unbrauchbaren Darstellungen für die Energie-Signaturen für moderne Gebäude. Mein Ziel ist es jetzt diese Einstrahlung irgendwie in die konventionelle Energie-Signatur-Darstellung zu integrieren.

5 SIMULATION

Dazu verwendete ich wiederum die Software bSol um verschiedene Gebäude zu simulieren. Ich entschied mich für ein zweistöckiges **Einfamilienhaus (EFH)** und ein vierstöckiges **Mehrfamilienhaus (MFH)** mit insgesamt 16 Eigentumswohnungen. Einmal mit Baustoffen, Fenster, Mauern und Isolation aus dem Jahre **1980** und dann immer dasselbe Gebäude mit moderneren Baustoffen aus der heutigen Zeit (**2006**).

Von diesen Gebäuden liess ich dann mit bSol die notwendige Heizenergie pro Jahr simulieren. Die Resultate der Berechnungen von bSol kann man relativ einfach exportieren in eine Exceltabelle, auf welcher dann die Stundenwerte für ein Jahr vermerkt sind. Stundenwerte sind für Temperatur, Sonneneinstrahlung, Heizwerte und weitere Werte angegeben, somit lassen sich Wochenmittelwerte durch diese Angaben ermitteln. Und mit diesen jeweiligen Wochenmittelwerte habe ich dann versucht eine Energie-Signatur-Darstellung zu realisieren.

Ausrichtung

Die einzelnen Gebäude habe ich auch noch um Ihre eigene Achse gedreht, das heisst dass sie einmal die Hauptfassade mit den grossen Fenstern und Balkon gegen Süden, Norden und einmal gegen Westen gerichtet haben. Den Osten liess ich weg, da sich die östliche Sonneneinstrahlung sehr ähnlich zu der Einstrahlung im Westen verhält⁴.

Standort

Für die Standorte der Gebäude habe ich mich einmal für Sitten im Tal des sonnigen Wallis, für Montana in den Bergen der Alpen und für Zürich im Flachland entschieden. Um die Auswirkungen der verschiedenen Orte zu ermitteln.

5.1 BESCHREIBUNG EFH



Abbildung 11: Typisches Einfamilienhaus mit Flachdach

Unser EFH besitzt zwei Stockwerke von je 3 Meter, ein Flachdach und die Wohnfläche beträgt 100m^2 pro Stockwerk. Der Keller ist 1m unter dem Erdboden, die Trennwände haben sind 18cm, die Stahlbetondecke 20cm und die Unterlagsböden sind 7cm dick. Innere Gewinne durch die Bewohner rechnen wir mit $1\text{W}/\text{m}^2$. Die Hauptfassade besitzt 40% Fensterfläche, dagegen die gegenüberliegende Fassade nur 5% und die Seitlichen jeweils 15% der Mauerfläche.

⁴ Dies habe ich mit den Meteodateien von bSol untersucht und festgestellt in Zürich, Montana und Sitten.

Eigenschaften des älteren EFH aus dem Jahre 1980:

- Zweifachverglasungsfenster mit einem U-Wert von $2.9 \text{ [W/ m}^2\text{]}$
- Mauern mit einem U-Wert von $0.5 \text{ [W/ m}^2\text{]}$
- Keine Wärmerückgewinnungsanlage
- Ältere Haushaltsgeräte mit einer Leistung von $2 \text{ [W/ m}^2\text{]}$

Eigenschaften des modernen EFH aus dem Jahre 2006:

- Uniplus 0.9 Fenster mit einem U-Wert von $0.9 \text{ [W/ m}^2\text{]}$
- Mauern mit einem U-Wert von $0.2 \text{ [W/ m}^2\text{]}$
- Wärmerückgewinnungsanlage mit einem Wirkungsgrad von 60%
- Neuere Haushaltsgeräte mit einer Leistung von $1 \text{ [W/ m}^2\text{]}$

5.2 BESCHREIBUNG MFH



Abbildung 12: Typisches Mehrfamilienhaus

Unser simuliertes MFH ist zwölf Meter hoch, besitzt vier Stockwerke, Flachdach und enthält nur 16 Wohnungen, nicht wie auf dem typischen MFH oben. Wiederum wird ein älteres MFH aus dem Jahre 1980 und ein modernes MFH aus dem Jahre 2006 mit bSol simuliert. Die jeweiligen Eigenschaften sind die gleichen wie für das EFH 1980 oder 2006.

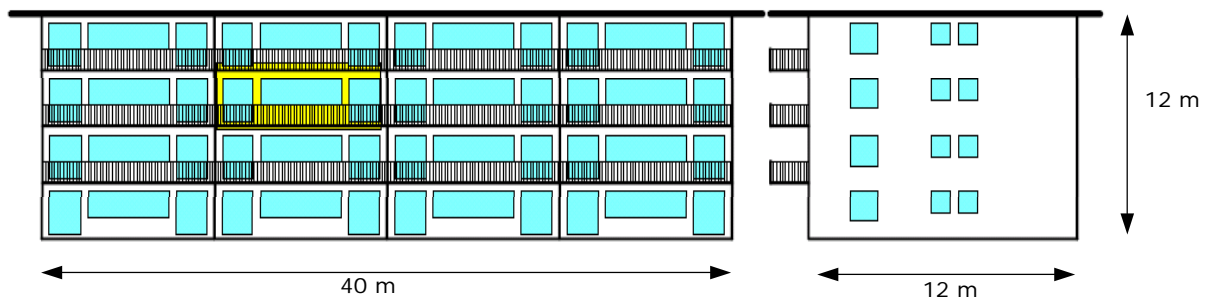


Abbildung 13: Front- und Seitenansicht unseres Mehrfamilienhauses

Gelb markiert ist eine Wohnung welche 120 m^2 Wohnfläche besitzt. Die Hauptfassade mit dem Balkon, bewirkt jeweils einen Beschattungsfaktor für die untere Wohnung, welcher auch in der Simulation mit bSol berücksichtigt wurde.

5.3 NEUE DARSTELLUNGEN

Das Ziel ist ja eine Darstellung zu finden welche die Aussentemperatur und die Sonneneinstrahlung berücksichtigt, damit die Energie-Signatur-Darstellung verbessert werden kann. Eine Verbesserung bedeutet, dass sich die Heizenergiewerte linearer verhalten und somit die Abstände zur Trendlinie kleiner werden. Ich habe deshalb eine Meteovariablen (M) eingefügt, welche die Einstrahlung mit einem Gewichtungsfaktor (κ), auch mitberücksichtigt, anstatt nur die Aussentemperatur (T).

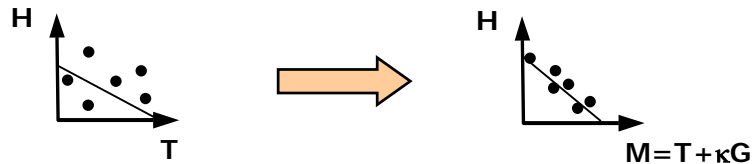


Abbildung 14: Ziel der neuen Darstellung

Zum Anfang aber möchte ich, zum einfacheren Verständnis, einige Variablen definieren, welche dann durch den ganzen Bericht Gültigkeit haben.

5.3.1 Variablen-Deklaration

M	Meteovariablen: $M = T + \kappa \times G$ oder $M = T + G_h \left(\kappa_h + \kappa_{vs} \frac{1}{\tan \eta} \right)$	[°C]
T_{ext}	Aussentemperatur (Mittelwert einer Woche)	[°C]
H	Heizenergie pro Quadratmeter (Mittelwert einer Woche)	[W/m²]
G_h	Globale horizontale Sonneneinstrahlung	[W/m²]
G_{v,süd}	Vertikale Einstrahlung auf die jeweilige angegebene Ausrichtung der Fassade	[W/m²]
G_{v,tan}	Angenäherte Einstrahlung zur G _{v,süd} , umgewandelt mit einem geometrischen Tangens Faktor	[W/m²]
G_{κ_h,κ_{vs}}	Zusammensetzung der G _h und G _{v,tan} mit zwei verschiedenen Gewichtungsfaktoren (κ _h , κ _{vs}) für die einzelnen Einstrahlungen	[W/m²]
κ	Faktor für die Gewichtung der Einstrahlung	[°C*m²/W]
κ_h	Faktor für die Gewichtung der Einstrahlung G _h	[°C*m²/W]
κ_{vs}	Faktor für die Gewichtung der Einstrahlung G _{v,tan}	[°C*m²/W]
η	Höhenwinkel der Sonne über der Horizontalen	[rad]
θ	Einfallswinkel	[rad]
Trendlinie	Regressionsgerade zu den einzelnen wöchentlichen Heizenergiewerten für ein Jahr	[-]
Quadratsumme	Normierter Vergleichswert, um die Qualität der einzelnen verschiedenen Energie-Signaturen zu bestimmen ⁵	[-]

5.3.2 G_h

Dies sind die Wochenmittelwerte der horizontalen globalen Sonneneinstrahlung, direkt aus der exportierten bSol Resultatsdatei.

⁵ Definition dieser Quadratsumme unter Kapitel 5.3.8

5.3.3 $G_{v,süd}$

Diese vertikale Südeinstrahlung ermittelte ich, indem ich ein würfelförmiges Haus mit nur einem Fenster von 1m^2 auf der Südseite, mit einem virtuellen g-Wert von 1.0 [-] entworfen habe in bSol. Damit ist die Leistung pro Quadratmeter, welche durch das Fenster eingestrahlt wird, direkt die Leistung der vertikalen Sonneneinstrahlung auf der Südfassade.

Diese Leistung welche durch die Fenster hineinkommt, wird in der Resultatsliste von bSol auch angezeigt, auch hier ermittelte ich die Wochenmittelwerte. Für die weiteren Ausrichtungen habe ich immer das würfelförmige Haus gedreht und so z.B. die $G_{v,west}$ ermittelt.

5.3.4 $G_{v,tan}$

Da ja bekanntlich die südliche Sonneneinstrahlung, der vertikalen Einstrahlungen am stärksten ist, versuchte ich diese irgendwie anzunähern. Da ja diese $G_{v,süd}$ standortabhängig ist und deshalb relativ aufwendig zu messen ist, näherte ich sie mit der horizontalen Einstrahlung (G_h) an und nannte sie $G_{v,tan}$. Da sie ja die angenäherte vertikale Südeinstrahlung ist und mit einem geometrischen Tangensfaktor umgewandelt wurde.

Die solare Globaleinstrahlung⁶ G_k in bSol, wird wie folgt berechnet:

$$G_k = B_k + D_{sky} + D_{reflected}$$

$$B_k = (G_h - D_h) \frac{\cos \theta}{\sin \eta}$$

Falls man vereinfacht und annimmt, dass die Diffusstrahlung D_h , die reflektierte Einstrahlung $D_{reflected}$ z.B. von einem Felsen und die Diffusstrahlung des Himmels D_{sky} , gleich Null sind, erhält man folgende Formel für die Globaleinstrahlung eines Gebäudes:

$$G_k = (G_h) \frac{\cos \theta}{\sin \eta}$$

Falls man am Mittag die Situation betrachtet, ist der Einfallswinkel θ und der Höhenwinkel der Sonne gegenüber der Horizontalen η gleich gross.

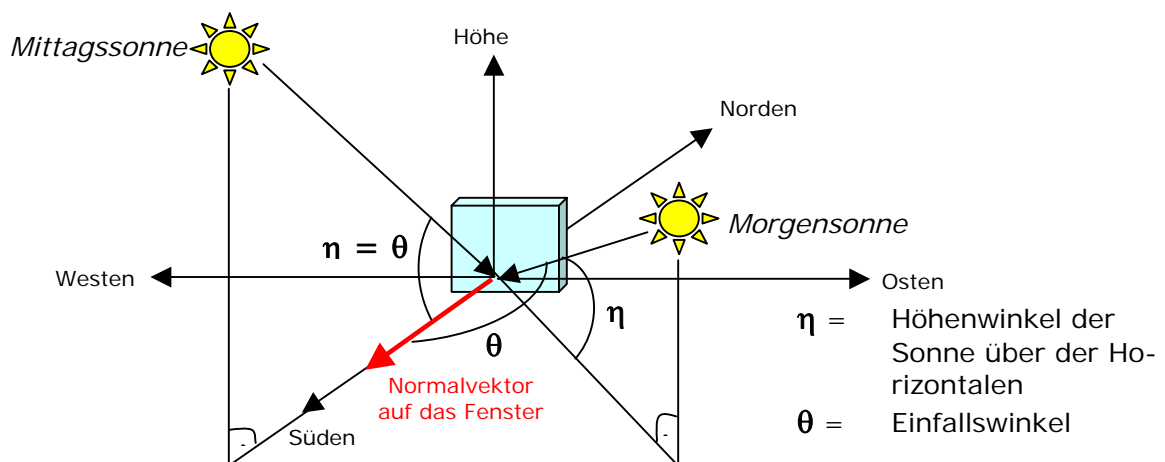


Abbildung 15: Höhen- und Einfallswinkel der Sonne, auf einer Fläche

⁶ k steht für eine Ausrichtung der jeweiligen Einstrahlung

Damit summieren wir die tägliche Sonneneinstrahlung auf den Mittag auf, bei welchem diese zwei Winkel gleich gross sind.

$$G_k = (G_h) \frac{1}{\tan \eta}$$

Der Höhenwinkel η ist natürlich auch Jahreszeitabhängig. Dies realisieren wir aus bekannten Daten der Sonnenlaufbahn aus den Meteodateien von bSol.

$$\eta = 44 - 24 \cos\left(\frac{2\pi}{52} \times n\right)$$

Der Höhenwinkel ist somit abhängig von n , der Wochennummer im Jahr. Somit haben wir im Sommer in der Woche 26, den grössten Wert für η , da ja im Sommer die Sonne am höchsten gegenüber der Horizontalen scheint.

5.3.5 $G_{\kappa_h, \kappa_{vs}}$

Um die Einstrahlung aufzuteilen in die vertikale Einstrahlung Süd und horizontale Globalstrahlung, haben wir die Meteovariablen erweitert.

$$M = T + G_h \left(\kappa_h + \kappa_{vs} \frac{1}{\tan \eta} \right)$$

Hier gibt es jetzt zwei verschiedene Gewichtungsfaktoren, welche die Einstrahlung je nach Einwirkungsstärke auf das Gebäude, verändert und somit gewichtet. Da wir auch hier nicht die Südeinstrahlung messen wollen von jedem Gebäude, arbeiteten wir mit der angenäherten $G_{v, \tan}$ und nicht mit der $G_{v, \text{süd}}$.

5.3.6 M_{norm} und H_{norm}

Die Meteovariablen M ist normiert auf M_{norm} welcher zwischen 0 und 1 liegt. Dies ermöglicht uns zwischen den einzelnen Gebäuden Vergleiche aufzustellen. Genau gleich wurde auch die Heizleistung H normiert auf H_{norm} .

$$M_{\text{norm}} = \frac{M - M_{\min}}{M_{\max} - M_{\min}} \quad H_{\text{norm}} = \frac{H - H_{\min}}{H_{\max} - H_{\min}}$$

Da es die Trendlinie, mit einzelnen kleinen Werten für H welche fast Null sind oder Null sind, ziemlich verändert, habe ich kleine Werte herausgelöscht. Kleine Werte sind definiert als, kleiner als 5% vom maximalen Heizenergiewert, diese habe ich jeweils aus allen Darstellungen gelöscht.

5.3.7 Optimaler κ -Werte

Der optimale κ -Wert ist dann gefunden, falls man die minimalste Quadratsumme der einzelnen Abstände erhält. Durch probieren einzelner κ -Werte, habe ich den optimalen Wert herausgefunden.

Da es für die κ_h und κ_{vs} Werte nicht mehr so einfach war die optimalen Werte zu finden, habe ich eine 5*5 Matrix gemacht, bei welcher sich immer bei der Veränderung der Werte für κ_h und κ_{vs} , auch die Quadratsumme der Abstände zur Geraden automatisch anpasst. Somit konnte ich mit diesem Excel-tool, welches immer die 36 verschiedenen Quadratsummen berechnet, die optimalen Werte für diese Faktoren bestimmen.

5.3.8 Quadratsumme der Abstände

Die Quadratsumme⁷ der Abstände zur Regressionsgeraden ist unser Gradmesser für die Qualität unter den einzelnen Darstellungen. Wir dividieren die berechnete Quadratsumme durch die Anzahl der Abstände und multiplizieren sie noch mit einem Faktor 1'000, damit wir die Werte direkt untereinander Vergleichen können.

Die roten Punkte sind die Heizwerte für eine Woche. Klein d ist der Abstand zur Regressionsgeraden y und y_s ist die senkrechte Gerade zur Gerade y und geht durch den Punkt (x_0/y_0) .

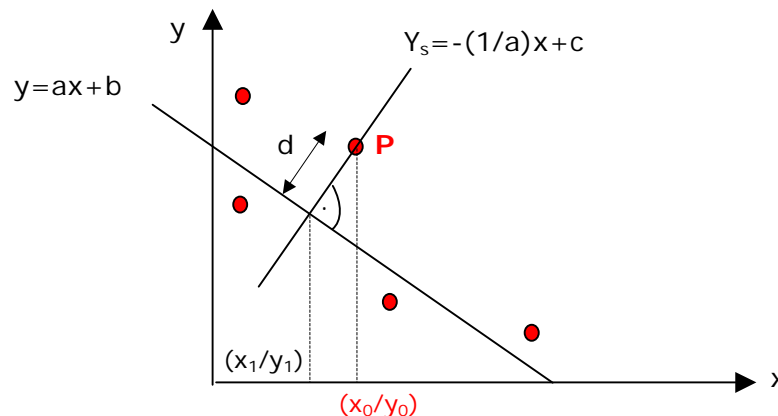


Abbildung 16: Skizze um die Quadratsumme der Abstände zu erhalten

Die Werte für die Steigung a und den Achsenabschnitt b, entnehme ich der generierten Trendlinie von allen Werten der eingezeichneten Heizenergipunkten.

Die Werte für x_0 und y_0 sind durch die Heizenergipunkte auch gegeben. Also muss ich noch c bestimmen. Dafür setze ich den Heizpunkt P in die Geradengleichung von y_s ein.

$$y_0 = -\frac{1}{a}x + c \rightarrow c = \left(y_0 + \frac{1}{a}x_0 \right)$$

Falls ich jetzt c in y_s einsetze ergibt mir dies die neue Geradengleichung:

$$y_s = \frac{1}{a}(x_0 - x) + y_0$$

Um die x_1 -Komponente des Schnittpunktes zu ermitteln, der Geraden y_s und y, setze ich diese gleich.

$$ax_1 + b = \frac{1}{a}(x_0 - x_1) + y_0 \rightarrow x_1 = \frac{x_0 - ab + ay_0}{a^2 + 1}$$

und für die y_1 -Komponente:

$$y_1 = ax_1 + b = a \frac{x_0 - ab + ay_0}{a^2 + 1} + b$$

Somit kann man die Distanz d und danach die Quadratsumme der Abstände bestimmen:

$$d = \sqrt{(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2} \rightarrow \text{Quadratsumme} = \sum_{i=1}^s (d_i)^2 \quad [s = \text{Anzahl_Heizenergipunkte}]$$

Diese Formeln habe ich in meinen Excelsimulationen eingefügt und es ändert sich bei der Änderung von den κ -Werten, auch automatisch die genormte Quadratsumme.

⁷ Quadratsumme, weil die einzelnen Abstände manchmal positiv und manchmal negativ sind, sie würden sich ansonsten aufheben.

6 VERGLEICH DER QUADRATSUMMEN

Jetzt stellt sich natürlich die Frage, welche Sonneneinstrahlung nimmt man den nun für welches Haus, je nach Ausrichtung des Gebäudes eine Andere? Oder existiert irgend eine universelle Einstrahlung mit der sich alle Gebäude gut darstellen lassen würden?

Diese Problematik untersuchte ich nun, indem ich mein EFH und das MFH, bei den drei Standorten: Sion, Zürich und Montana, jeweils die Heizenergiewerte simulieren liess. Und diese Gebäude nach Süden, Norden und Westen drehte, d.h. die Hauptfassade mit den meisten Fenstern zeigt in diese Himmelsrichtung.

Mit diesen Heizenergiewerten habe ich dann mit den verschiedenen genormten Quadratsummen eine grosse Vergleichstabelle ermittelt, worin man erkennen kann, welche Darstellung mit einer bestimmten Sonneneinstrahlung qualitativ besser ist als eine Andere.

Sitten

EFH		Sonneneinstrahlung			
		G_h	$G_{v,süd}$	$G_{v,tan}$	$G_{K_h,K_{vs}}$
Süd	1980	2.246	0.535	0.963	0.803
	2006	11.171	3.288	4.850	4.850

Abbildung 17: Quadratsummen des südlich gerichteten EFH 1980, 2006 in Sitten

Dies ist jetzt der Vergleich von meinem Einfamilienhaus, welches südgerichtet ist und sich in Sitten befindet. Einmal aus dem Jahre 1980 und einmal mit modernen Materialien aus dem Jahr 2006. Man erkennt, dass das moderne EFH durch den Einbezug der $G_{v,süd}$ anstatt nur mit der G_h , oder sogar nur mit der Temperatur⁸, eine relativ starke Verbesserung der Darstellung mit sich bringt.

Mit anderen Worten beschrieben, verhalten sich die Heizenergiepunkte während einem Jahr linearer und man kann die Vorteile der Energie-Signatur-Darstellung besser nutzen.

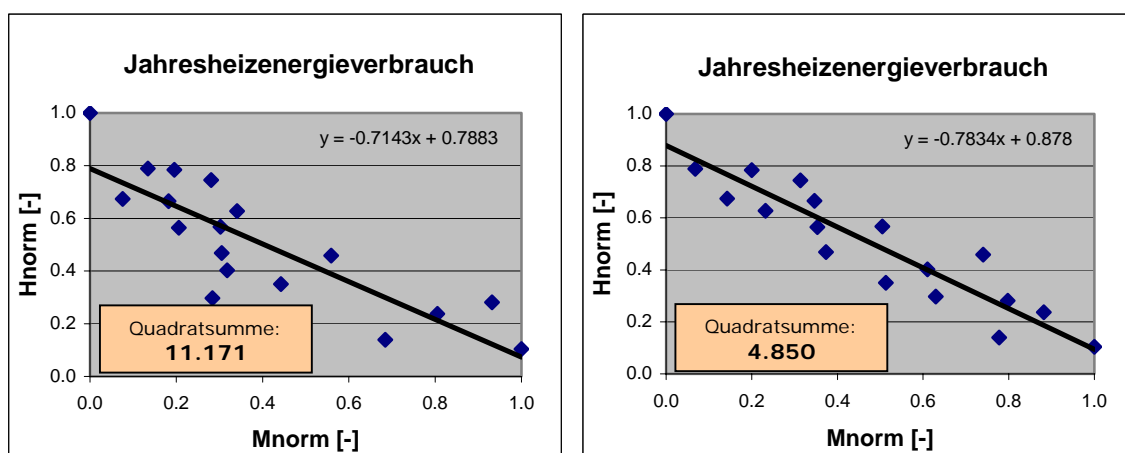


Abbildung 18: Energie-Signatur eines südlichen EFH (2006), links mit der Einstrahlung G_h und rechts mit $G_{K_h,K_{vs}}$ dargestellt

⁸ Siehe Abbildung 7, welche die Energie-Signatur desselben Gebäudes ohne Einbezug der solaren Einstrahlung darstellt.

Insgesamt habe ich also so zwei Gebäude simuliert, mal drei Standorte, mal drei Ausrichtungen, mal zwei Jahrgänge und mal vier verschiedene Sonneneinstrahlungen, dies ergibt mir 144 verschiedene Energie-Signaturen. Alle diese aufzuführen oder auch nur die jeweiligen Quadratsummen anzugeben wäre nicht wirklich fördernd. Deshalb werde ich die Erkenntnisse welche ich gemacht hatte zusammenfassend für das EFH und MFH erklären und auflisten.

6.1 EINFAMILIENHAUS

Je nach Ausrichtung der Gebäude, stellte sich eine andere Einstrahlung in die dominante Rolle. Deshalb musste ich mich auf eine zusammengesetzte Strahlung fixieren. Denn ein nordgerichtetes Haus, ist fast ausschliesslich von der horizontalen Einstrahlung abhängig und die vertikale Nordeinstrahlung ist im Verhältnis klein dagegen. Wobei bei einem Südgerichteten Gebäude die vertikale Südeinstrahlung sehr dominant gegenüber der Horizontalen auftritt.

Also stellte sich heraus, dass die Sonneneinstrahlung $G_{K_h, K_{vs}}$ welche aus der horizontalen Einstrahlung und der angenäherten Südeinstrahlung $G_{v, tan}$ die besten Darstellungen für eine Energiesignatur ergaben. Durch die Gewichtungsfaktoren κ_h und κ_{vs} , kann der unterschiedlich dominanten Rolle Rechnung getragen werden⁹.

Auf der untenstehenden Tabelle sieht man für die EFH, die einzelnen Quadratsummen der Abstände zu ihrer jeweiligen Trendlinie. Das heisst je grösser der Wert, desto schlechter die Qualität der Energie-Signatur-Darstellung.

EFH		$G_{K_h, K_{vs}}$		
		Sitten	Zürich	Montana
Süd	1980	0.803	0.527	0.925
	2006	4.850	2.442	14.939
Nord	1980	0.222	0.190	0.234
	2006	0.633	0.418	0.822
West	1980	0.460	0.363	0.328
	2006	2.332	0.850	3.924

Abbildung 19: Quadratsummenvergleich für die verschiedenen EFH

- Ersichtlich ist hier direkt, dass die südgerichteten EFH die schlechtesten Anzeigen, im Verhältnis zu den restlichen Gebäuden am gleichen Standort, erzeugen.
- Man sieht auch dass die moderneren Gebäude die schlechteren Anzeigen produzieren als die älteren Häuser, was ja auch zu erwarten war.
- Ab einer Quadratsumme kleiner als 1.0 weist die Darstellung ein sehr gutes lineares Verhalten der Heizenergiewerte auf. Die Qualität der Energie-Signatur ist gut.
- Ab einer Quadratsumme grösser als 5.0 wird die Qualität der Energie-Signatur relativ schlecht.
- Die höchste Quadratsumme ist in Montana beim modernen Südgerichteten EFH vorhanden. Wobei man dennoch einen sehr positiven Effekt mit Einbezug der Einstrahlung erhält als ohne, da ohne Einstrahlung absolut kein lineares Verhalten vorhanden ist.

⁹ Beispiel Excelblatt der Signatur-Darstellung mit der Einstrahlung $G_{K_h, K_{vs}}$ im Anhang 3

6.2 MEHRFAMILIENHAUS

Auch bei dem MFH zeichnete sich natürlich die $G_{K_h, K_{vs}}$ als beste Einstrahlung für die Energie-Signatur aus. Auffallend ist, dass hier die Quadratsummen der Abstände zur Trendlinie, im Schnitt höher sind als die der Einfamilienhäuser. Wobei das Verhalten der modernen Gebäude auch weniger lineare Darstellungen ergibt als die Älteren aus dem Jahre 1980.

MFH		$G_{K_h, K_{vs}}$		
		Sitten	Zürich	Montana
Süd	1980	1.104	0.531	1.094
	2006	16.587	3.343	32.153
Nord	1980	0.128	0.334	0.177
	2006	0.490	0.659	1.695
West	1980	0.380	0.334	0.253
	2006	2.781	1.585	3.425

Abbildung 20: Quadratsummenvergleich für die verschiedenen MFH

- Ein Grund dafür ist sicherlich, dass die einzelnen 16 Wohnungen, nicht alle vier Aussenwände in Kontakt mit den Aussenverhältnissen haben. Das Gebäude ist somit weniger anfällig auf äussere Einflüsse, wie Einstrahlung und Temperatur, als das EFH.
- Auffallend gross sind die Werte bei den südlich gerichteten modernen MFH in Sitten und Montana. Hier existiert eine sehr schlechte Darstellung für die Energie-Signatur, was aber nicht weiter besorgniserregend ist, denn die Jahresheizenergieverbräuche belaufen sich hier zwischen 9.9 – 13.8 MJ/m², was bei einer Ölheizung, pro Wohnung ca. 28.- Fr im Jahr an Heizkosten¹⁰ entspricht. Hier erübrigt sich eigentlich die Diskussion des Energiecontrollings, da der Aufwand zum Ertrag nicht mehr stimmt. Die Heizenergie ist so klein, dass man in Montana sogar die Woche 51 im Jahr streichen konnte in der Darstellung, da sie unter 5% lagen vom Maximalwert.
- Auch hier kann man erkennen, dass die süd- und westgerichteten modernen Gebäude, durch ihre stärkere vertikale Einstrahlung¹¹ auf die Hauptfassade, grössere Abstände der Heizverbrauchspunkte hervorruft. Dieses Verhalten sieht man bei den nordgerichteten Gebäuden weniger, da die vertikale Nordeinstrahlung im Verhältnis zu den anderen vertikalen Einstrahlungen, nicht so stark ist.

¹⁰ Bei einem Ölpreis von 7.2 Rp/kWh, siehe www.swissoil.ch

¹¹ Vertikale Einstrahlungen siehe Anhang 2

6.3 FAZIT

Zusammenfassend gesagt kann man behaupten, dass der Einbezug der Einstrahlung einen sehr positiven Effekt auf die Darstellung der Energie-Signatur hat.

Falls man die einzelnen Gewichtungsfaktoren¹² betrachtet, kann man sehen, dass die älteren Gebäude die Temperatur die dominante Rolle spielt, im Gegensatz zu den Modernen wo die Solareinstrahlung diese Rolle übernimmt.

Unter bSol lassen sich auch die Betriebsparameter konfigurieren, unter anderem kann man die inneren Gewinne grösser oder kleiner machen. Falls die inneren Gewinne bzw. für ein Schulzimmer grösser werden, wird die Heizenergie kleiner und der Heizenergieverbrauch natürlich weniger Abhängig von äusseren Einflüssen.

Man muss bei diesen manchen nahezu perfekten Darstellungen, welche eine Quadratsumme von kleiner als 0.5 aufweisen, auch relativieren. Denn die Software bSol erzeugt natürlich ein perfektes Betriebsverhalten des Gebäudes. D.h. falls die Innentemperatur einen gewissen Sollwert übersteigt, werden automatisch die Storen heruntergelassen, damit die solare Einstrahlung nicht den Raum noch weiter aufheizt. Oder auch das Lüften der Räume, hier wird kein Fenster offengelassen ohne zu wollen. In der Realität werden die Darstellungen also wahrscheinlich nicht so exakte lineare Verhalten aufweisen, wie in der Simulation.

7 STANDORT METEOSTATION

Ein weiterer Aspekt war zu ermitteln, inwiefern sich eine Energie-Signatur für ein gewisses Gebäude verändert, falls man mit anderen Meteodaten, eines entfernten Standortes arbeitet. Die Aussentemperatur für einen Standort ist ja bekanntlich nicht schwierig messbar und es existieren schon genügend solche Messpunkte in der Schweiz. Bei der Sonneneinstrahlung sieht das Bild aber anders aus. Es existieren für gewisse Regionen schon solche Messstationen aber niemals so viele wie für die Temperatur.

Also wäre es interessant wenn man mit ein paar einzelnen gemessenen globalen Sonneneinstrahlungen, alle Gebäude in jeder Region in der Schweiz, mit den Messungen einer der Wetterstationen, darstellen könnte.

Um dies alles zu untersuchen verglich ich zuerst meine drei Standorte von den Simulationen: Sitten, Montana und Zürich. Falls man die Summe der Wochenmittelwerte der einzelnen Standorte miteinander vergleicht erkannte man folgendes:

	Sitten	Zürich	Montana
T_{ext}	Am wärmsten	dazwischen	Am kältesten
G_h	dazwischen	Am wenigsten Sonne	Am sonnigsten

Abbildung 21: Vergleich der Meteodaten der Standorte Sitten, Zürich und Montana

¹² Siehe Anhang 1, Quadratsummen mit Gewichtungsfaktoren für G_{Kh} , K_{Vs}

7.1 SIMULATION

Somit versuchte ich nun z.B. die Heizenergie von Sitten (H_s) mit den Meteodaten von Zürich (M_z) und Montana (M_m), mit einer Energie-Signatur darzustellen. Wiederum verglich ich die normierten Quadratsummen der Abstände um die Qualität der einzelnen Anzeigen miteinander zu vergleichen. Dies habe ich wiederum mit allen meinen Einfamilienhäusern untersucht.

Sitten (H_s)

EFH		Sonneneinstrahlung: $G_{K_h, K_{vs}}$		
		M_s	M_z	M_m
Süd	1980	0.803	14.025	20.223
	2006	4.850	40.706	44.880

Abbildung 22: Quadratsummen des südlich gerichteten EFH aus Sitten mit Meteodaten von den Standorten Zürich und Montana

Oben sieht man das Beispiel für das südliche EFH in Sitten. Man erkennt dass es qualitativ sehr schlechte Anzeigen gibt, im Verhältnis zu den originalen Meteodaten aus Sitten. Auch die restlichen EFH, welche entweder anders ausgerichtet oder in den anderen Ortschaften liegen, hatten auch ein mehr oder weniger schlechtes lineares Verhalten aufgezeigt.

Aufgrund der einfacheren ortsabhängigen Messung der Temperatur, versuchte ich dieses EFH mit den originalen T_{ext} aber mit anderen G_h (G_z für Zürich und G_m für Montana), die Energie-Signaturen zu ermitteln.

Sitten (H_s)

EFH		Sonneneinstrahlung: $G_{K_h, K_{vs}}$		
		$M_{(Ts, G_s)}$	$M_{(Ts, G_z)}$	$M_{(Ts, G_m)}$
Süd	1980	0.803	3.226	3.507
	2006	4.850	23.418	23.987

Abbildung 23: Quadratsummen des südlich gerichteten EFH aus Sitten mit Einstrahlung von den Standorten Zürich und Montana, Temperaturen aber von Sitten

Wie man leicht erkennt, verbessert sich die Qualität der Darstellung, als man auch die T_{ext} vom anderen Standort nahm, aber wirklich qualitativ gute ergab es bei den modernen EFH auch nicht.

7.2 FAZIT

Wie bei den normalen Simulationen mit den jeweils richtigen Meteodaten, lassen sich die älteren Gebäude besser darstellen als die Modernen.

Die EFH aus Sitten lassen sich sehr schlecht mit den anderen Meteodaten anzeigen, wobei ein EFH aus Montana mit den Meteodaten aus Zürich schon recht akzeptable Resultate zeigen, mit Ausnahme der südlichgerichteten Modernen. Auch umgekehrt ein EFH aus Zürich lässt sich besser als eines aus Sitten, mit Meteodaten aus Montana darstellen.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Frage, auf was die Softwareprogrammierer von METEONORM, welche die Meteodateien jeweils generiert, alles geachtet haben. Für die reale Schweiz ist klar, dass falls man eine sonnige Woche in Sitten hat, hat man auch eine sonnige Woche in Montana. Die Unterschiede in der Region sollten eigentlich keine grosse Abweichungen haben. Wie aber auf dem untenstehenden Diagramm ersichtlich, hat Sitten und Montana nicht überall ein ähnliches Verhalten. z.B. in der Woche 20 hat Montana eine nicht sonnige Woche, wobei Sitten eine sehr sonnige Woche erfahren hatte.

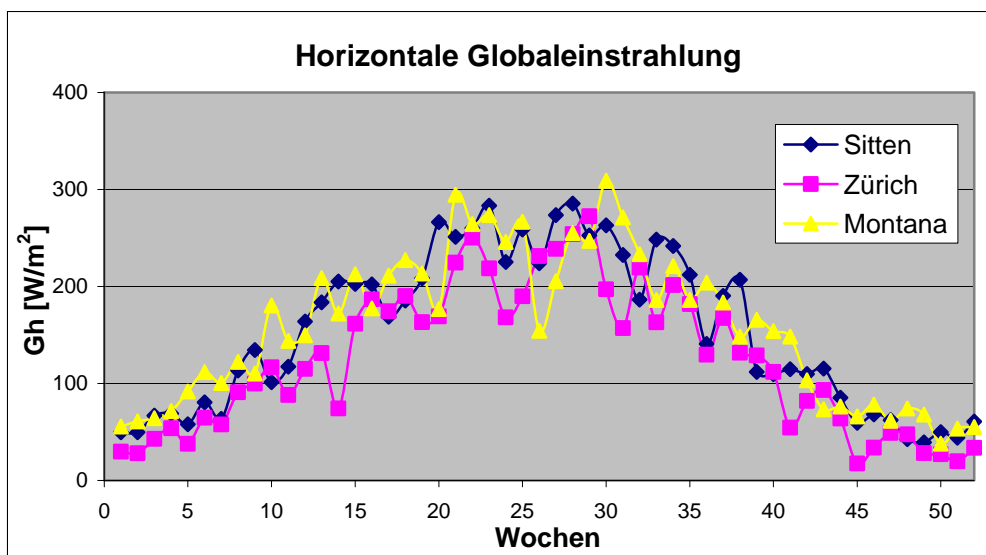


Abbildung 24: Vergleich der horizontalen Globaleinstrahlung von Meteonorm

Dies lässt uns vermuten, dass die Programmierer einfach einen Mittelwert der letzten paar Jahre, typische Werte für einen Standort nahmen und diesen dann angaben in ihrem Programm. Für uns heisst dies, dass es mit den realen Meteodaten qualitativ bessere Darstellung erzeugt, anstatt hier simuliert.

Also könnte es möglich sein, mit den bereits bestehenden Meteostationen¹³, in der Schweiz, alle Standorte untereinander zu interpolieren in Abhängigkeit der Höhe und der Entfernung zueinander und somit die einzelnen Messungen der umliegenden Meteostationen zu gewichten.

¹³ Laut www.meteosuisse.ch gibt es 67 fixe Messstationen, welche von Meteo-Schweiz aufgezeichnet werden.

8 WÄRMESPEICHER-TRÄGHEIT

Da die modernen Gebäude die gewonnene oder produzierte Wärme sehr gut speichern können, kam die zentrale Frage auf:

Falls heute die Sonne sehr stark scheint, ist dann nicht erst morgen der Heizenergieverbrauch kleiner, anstatt schon der Verbrauch von heute?

Jetzt aber, ist dies genau einen Tag später, oder vielleicht nur ein paar Stunden oder sogar mehr als ein Tag? Um diese Fragen zu klären und zu untersuchen, ob diese Behauptung der Trägheit eines Gebäudes überhaupt vertretbar ist oder nicht, habe ich wieder verschiedene Simulationen gemacht.

8.1 SIMULATION

Das Ziel ist ja die Wirkung der Sonneneinstrahlung zeitlich zu verschieben, dies habe ich folgendermassen realisiert. Um die einzelnen Wochenmittelwerte zu ermitteln, habe ich einfach die ganze Spalte der stündlichen horizontalen Einstrahlung (G_h), um eine gewisse Anzahl Stunden nach unten verschoben und danach wieder die Wochenmittelwerte über ein Jahr ermittelt. Somit gab es mir immer wieder neue Wochenmittelwerte für G_h und mit diesen habe ich jeweils wieder versucht eine Energie-Signatur darzustellen. Wiederum ist die Quadratsumme der Vergleichsparameter.

Da es extrem lange dauern würde, für alle modernen Häuser diese optimale Zeitverschiebung zu finden, habe ich mich entschieden das moderne EFH (2006) in Sitten zu untersuchen.

		Ausrichtung		
		Süd	Nord	West
Stunden G_h verschoben [h]	0	3.606	0.301	1.837
	9	3.425	0.297	-
	10	3.015	0.285	1.247
	11	2.793	0.293	1.015
	12	2.977	0.337	0.999
	13	3.322	-	1.143

Abbildung 25: Quadratsummen mit zeitlich verschobener Einstrahlung für ein modernes EFH aus Sitten, mit verschiedenen Ausrichtungen.

Nach vielen Versuchen mit jeweiligem darstellen der Energie-Signatur, fand ich die optimale Zeitverschiebung für die Einfamilienhäuser heraus. Für moderne Gebäude in Sitten ist dies demnach plus minus um die 11 [h] herum, wo die Quadratsumme der Abstände minimal wird und welche somit der optimalen Energie-Signatur-Darstellung entspricht.

Um zu behaupten, dass dies überall in der Schweiz so oder ähnlich ist, habe ich noch das moderne südgerichtete EFH von Montana und Zürich untersucht. Hier stiess ich aber auf andere Stundenwerte um die optimale Darstellung zu erhalten.

EFH 2006 Süd				
Stunden G_h verschoben [h]		Montana		Zürich
	0	12.051	0	2.179
	26	7.454	32	1.266
	27	7.450	33	1.221
	28	7.449	34	1.211
	29	7.452	35	1.369
	30	7.458	36	1.572

Abbildung 26: Quadratsummen mit zeitlich verschobener Einstrahlung für ein südlich gerichtetes modernes EFH aus Zürich und Montana

8.2 FAZIT

Es zeigt sich also eine standortabhängige optimale Zeitverschiebung heraus, welche aber ziemlich unterschiedlich ist für unsere drei gewählten Standorte. Somit erschwert diese Erkenntnis, eine Aussage zu machen, dass man in der Schweiz global sagen könnte man sollte die G_h einfach um so viele Stunden verschieben und man erhält bessere Energie-Signaturen. Vielleicht müsste man regionale Abgrenzungen schaffen und so eine Tabelle mit den verschiedenen Zeitverschiebungen herausgeben lassen.

Für unsere untersuchten Standorte wäre dies für:	Sitten	11 [h]
	Montana	28 [h]
	Zürich	34 [h]

Was aber nicht unbedingt zu erwarten war, denn die Sonneneinstrahlung ist ja in Sitten bekanntlich höher als die in Zürich und somit würde man annehmen die Zeitverschiebung in Sitten sei auch grösser, dem ist aber nicht so, in meinen Simulationen.

Wobei auch gesagt werden muss, dass die Darstellungen, sprich die Quadratsummen von Zürich nicht wesentlich verändern, falls man ca. 6 Stunden vor dieser Zeit oben angegeben, schaut. Das bedeutet es wäre nicht so tragisch falls man jetzt die G_h von Zürich auch nur 28 [h] verschieben würde.

Wie gesagt, wird es schwierig eine genaue Zeitverschiebung für eine Region zu finden. Aber man kann behaupten, dass die Wärmespeicher-Trägheit einen Einfluss auf die Energie-Signatur hat und man damit diese noch optimieren könnte.

9 VERGLEICH MIT MESSUNGEN

Die herausgefunden Aussagen über den Einbezug der solaren Einstrahlung will man nun anhand von realen Messungen kontrollieren. Das Optimale wäre, dass ich von verschiedenen modernen Gebäuden die Heizverbrauchswerte erhalten würde und diese mit den Meteodaten aus diesem Jahr, zu einer Energie-Signatur zusammenfügen könnte.

Es stellte sich heraus, dass es relativ schwierig war von irgendwelchen Gebäuden, Heizverbrauchsdaten zu finden, welche regelmässig über ein Jahr lang gespeichert wurden. Also untersuchte ich, was ich bekommen hatten. Dies waren:

Kollegium Creusets in Sitten

(Collège des Creusets)

Werkhof Indivis in Martigny

(Centre d'entretien de l'indivis)

Sportcenter in Verbier

(Centre sportif et logements)

Von jedem Gebäude erhielt ich eine Exceldatei mit vielen unbeschriebenen Werten, welche ich erst herausfinden musste für was sie standen. Auch hatten manche Gebäude die Gradstunden direkt selber gemessen und diese auch eingetragen.

Die jeweiligen Meteodaten von diesen Ortschaften hat man von Meteosuisse angefragt und erhalten. Da für Martigny und Verbier keine Messstationen existieren, hatte man für die Messstation von Grand St. Bernard und Sitten, die Daten gesendet. Für Martigny habe ich die Daten von Sitten übernommen und für Verbier suchte ich eine intelligente Interpolierung der Daten von Sitten und Grand St. Bernard¹⁴.

9.1 COLLÈGE DES CREUSETS

9.1.1 Beschreibung



Abbildung 27: Ostansicht des Kollegiums Creusets

Dieses Kollegium wurde 1979 in Sitten, welches 500 müM. liegt, erbaut und wurde bis heute laut Katasteramt in Sitten, nicht renoviert. Die Ausrichtung der Hauptfassade ist Östlich und die Inneren Gewinne werden höher als normal sein, da sich in diesem Gebäude meist Schulklassen, mit vielen Personen auf wenig Quadratmeter, befinden. Es existiert eine Gas- und eine Ölheizung, vom jeweiligen Brennstoffverbrauch ermittelte ich die Heizenergien für die jeweiligen Wochen.

¹⁴ Wie ich diese Interpolation gemacht hatte, erkläre ich unter dem Kapitel Centre sportif

9.1.2 Energie-Signatur

Für die Energie-Signatur nahm ich die bereits erwähnten T_{ext} , welche ich aus den einzelnen Gradstunden zurückrechnete, denn mit den T_{ext} von Meteosuisse, ergab es mir qualitativ schlechtere Darstellungen für die Energie-Signatur. Aber für die G_h nahm ich natürlich die Meteodaten von Meteosuisse aus Sitten.

Damit ich nur die Heizenergie betrachten konnte, ermittelte ich durch die relativ konstanten Werte während dem Sommer, den nötigen Warmwasserverbrauch des Gebäudes und strich dann diesen von jedem Heizverbrauchswert weg. Auch die 5% vom Maximum strich ich weg und mit diesen Heizenergiepunkten ergab es mir, nach der Optimierung der Gewichtungsfaktoren, folgende Darstellung:

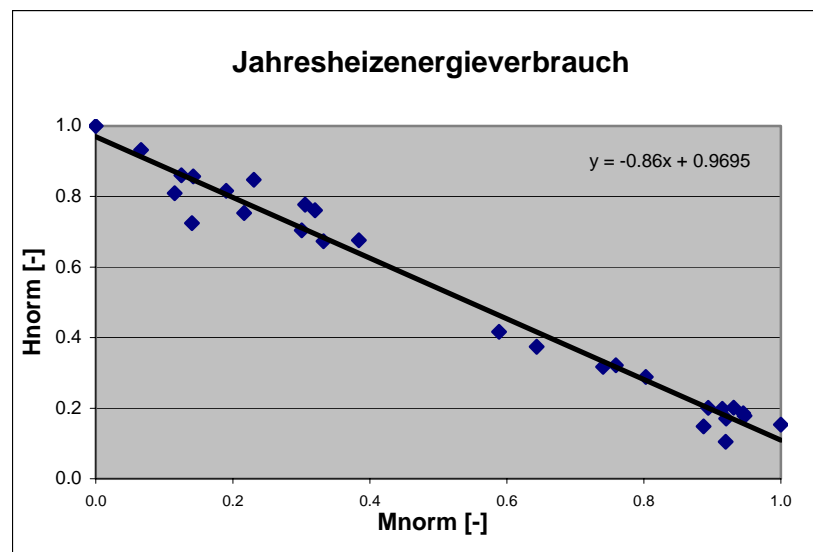


Abbildung 28: Optimale Energie-Signatur vom Kollegium Creusets

Quadratsumme		
Ohne G_h :	1.251	100%
Mit G_h :	1.152	92.1%

Abbildung 29: Quadratsumme der Energie-Signatur des Kollegium Creusets, in Funktion der Einstrahlung

Wie man sieht, ist dies eine recht lineare Darstellung, die Quadratsumme ändert sich aber nur geringfügig ca. 8%, durch Einbezug der Einstrahlung. Dies ist eigentlich normal, denn ein Gebäude mit so grossen inneren Gewinnen, ist eigentlich ziemlich unabhängig gegenüber den äusseren Einflüssen, denn sogar am Wochenende werden die Storen geschlossen und auch falls es zu heiss wird in den Klassenzimmern während den Schulwochen.

So ergibt es uns auch ohne Sonneneinstrahlung, nur mit der Temperatur eine gute Energie-Signatur-Darstellung.

9.2 CENTRE D'ENTRETIEN DE L'INDIVIS

9.2.1 Beschreibung



Abbildung 30: Frontansicht des Werkhofs

Dieser Werkhof wurde 1983 in Martigny erbaut, welches ca. 475 müM. liegt und auch nicht renoviert, laut Katasteramt. Die Hauptfassadenausrichtung des Centre d'entretien de l'indivis ist Süd-Westlich. Leider wurden hier keine Gradstunden automatisch aufgezeichnet, somit musste ich hier auf die Meteosuisse Daten zurückgreifen.

9.2.2 Energie-Signatur

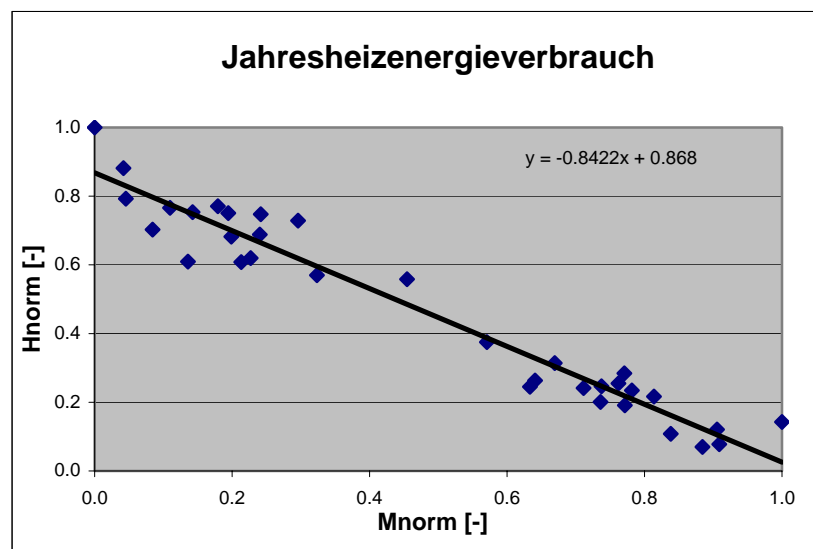


Abbildung 31: Optimale Energie-Signatur vom Werkhof

Quadratsumme		
Ohne Gh:	2.464	100%
Mit Gh:	2.324	94.3%

Abbildung 32: Quadratsumme der Energie-Signatur des Werkhofs, in Funktion der Einstrahlung (Gh)

Auch hier ist der Unterschied nicht sehr gross, ob man mit oder ohne Einstrahlung die Energie-Signatur-Darstellung anzeigen lässt (ca. 5.5%). Auch mit dem Versuch die gemessenen Gradstunden vom Kollegium Creusets zu integrieren gab es eine schlechtere Darstellung. Diese Energie-Signaturen, vom Werkhof und die des Kollegiums lassen sich also nicht stark verbessern mit der solaren Einstrahlung, es existiert schon eine ausreichend lineare Anzeige der Heizenergiepunkten. Was ja auch in den Simulationen erkannt wurde, da dort die älteren Gebäude aus dem Jahre 1980 auch schon ohne Einbezug der Sonneneinstrahlung relativ akzeptable Anzeigen hervorbrachten.

9.3 CENTRE SPORTIF

9.3.1 Beschreibung



Abbildung 33: Südansicht des Sportcenters

Dieses Sportcenter wurde in Verbier, auf ca. 1500 mÜM, im Jahre 1985 erbaut. Es ist also unser „modernstes“ Haus unter unseren Messgebäuden. Die Hauptfassade ist südlich ausgerichtet, auf welcher ja bekanntlich die südliche Einstrahlung einen starken Einfluss hat. Das Sportcenter bietet auch Übernachtungsmöglichkeiten und geheizt wird das Center mit einer grossen Ölheizung.

9.3.2 Energie-Signatur

Wiederum habe ich mit dem aufgezeichneten Ölverbrauch die Heizleistung ausgerechnet und mit dem „Sommerheizenergieverbrauch“ die Warmwasserproduktion bestimmt und diese dann von allen wöchentlichen Heizverbräuchen abgezogen. Die wöchentlichen Mittelwerte der Temperatur T_{ext} ermittelte ich aus den Gradstunden und die G_h musste ich irgendwie annähern.

Dies realisierte ich folgendermassen, mit dem Programm METEONORM habe ich die ungefähren Koordinaten eingeben von Verbier und mir so die horizontale Sonneneinstrahlung von dort generieren lassen. Auch von Sitten und Grand St. Bernard habe ich mir die G_h generiert. Diese habe ich dann zueinander verglichen und ein Verhältnis von Sitten (S) und Grand St. Bernard (GB) zu Verbier (V) ermittelt. Dies habe ich für jeden einzelnen Wochenmittelwert gemacht und dann von diesen 52 Gewichtungsfaktoren den Durchschnitt gebildet.

$$V_i = \alpha_i \times S_i + (1 - \alpha_i) \times GB_i \rightarrow \alpha_{\text{optimal}} = \frac{\sum_{i=1}^{52} \frac{(V_i - GB_i)}{(S_i - GB_i)}}{52} = 0.87$$

Dieser Gewichtungsfaktor α_{optimal} habe ich dann auf die horizontalen Einstrahlungen, von Sitten und Grand St. Bernard, welche von Meteo-Schweiz geliefert wurden, angewendet und so mit dieser interpolierten Einstrahlung die Energie-Signatur-Darstellung realisiert.

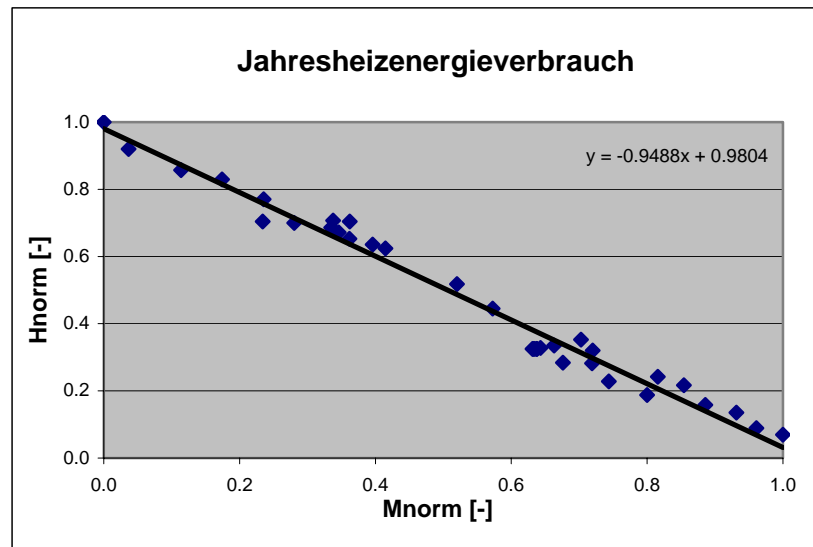


Abbildung 34: Optimale Energie-Signatur des Sportcenters

Quadratsumme		
Ohne Gh:	0.913	100%
Mit Gh:	0.724	79.3%

Abbildung 35: Quadratsumme der Energie-Signatur des Sportcenters, in Funktion der Einstrahlung (Gh)

Aber auch dieses Gebäude ist ja eher schon ein Älteres, da es um 1985 gebaut wurde, dass erkennt man auch daran, dass die Energie-Signatur auch ohne Einbezug der Einstrahlung schon ein sehr gutes Resultat erzeugt. Falls man jetzt mit der G_h die Anzeige macht, sieht man doch anhand der Quadratsumme der Abstände, eine ca. 20% Verbesserung der Qualität der Energie-Signatur. Dies zeigt uns auf, obwohl die Darstellung schon gut ohne Einbezug der solaren Einflüsse ist, dass die Berücksichtigung der G_h dennoch einen positiven Effekt auf die Qualität der Anzeige hat.

9.4 FAZIT

Zwischen der Simulation und den realen Messungen besteht ein weiterer Unterschied. Denn die Temperaturmittelwerte für eine Woche wurden auch falls, die Aussentemperatur über 20°C kletterte, gemessen und miteinbezogen, im Gegensatz zu der Bestimmung der Gradstunden. Hier wird ja nur der Unterschied der Aussentemperatur gezählt, welcher unter einem bestimmten Temperaturmaximum, bei uns 20°C, sind. Diese Summe nennt man dann Gradstunden und könnte also gewisse Unterschiede in der Energie-Signatur bewirken. Wobei nach der Untersuchung wie gross dieser Unterschied ist bestimmt wurde, dass der prozentuale Unterschied zum Maximalwert der Gradstunden, nur maximal 0.18% beträgt, konnte gesagt werden, dass dieser Aspekt ruhig vernachlässigbar ist. Die grösseren prozentualen Unterschiede (12%) werden im Sommer festgestellt, wobei dieser ja keine Einwirkung auf die Energie-Signatur hat und somit nicht relevant ist.

Dadurch, dass im Werkhof keine eigenen Gradstunden aufgezeichnet wurden, erkennt man, dass die Darstellung im Vergleich zu den anderen zwei Messungen qualitativ ein wenig schlechter ist, sprich die Quadratsummen ein wenig grösser.

Diesen positiven Effekt auf die Energie-Signatur des Sportcenters, lässt mich behaupten, dass sich somit die modernen Gebäude auch viel besser darstellen lassen würden, mit der solaren Einstrahlung und der Temperatur, als nur in Abhängigkeit der Aussentemperatur. Dies ist kein definitiver Beweis, da wir ja kein modernes Gebäude gefunden hatten, welches den Heizenergieverbrauch aufzeichnete, aber es ist ein starker Hinweis, dass die solaren Einstrahlungen diese positiven Auswirkungen auf die Energie-Signaturen bewirken.

9.5 WEITERFÜHRENDE STUDIEN

9.5.1 Kälteenergieverbrauch

Diesen könnte man auch noch in die einzelnen Energie-Signaturen einbringen, wobei dies nur für irgendwelche grösseren Gebäude mit integrierter Klimaanlage rentabel sein würde. Aber auch hier gilt die Regel, je mehr die Sonne scheint, desto grösser muss auch die Kälteleistung sein.

9.5.2 Untersuchung von METEONORM

Man müsste die Software untersuchen auf die Regionale „Ähnlichkeit“ der solaren Einstrahlung. Da man eigentlich, mit einer sonnigen Woche in Sitten, auch eine sonnige Woche in Montana erwarten würde. Ob man auf diesen Effekt auch Rücksicht genommen hatte bei der Programmierung von METEONORM oder nicht, müsste noch weiter studiert und analysiert werden.

9.5.3 Aufteilung in Regionen

Die Schweiz müsste in verschiedenen Regionen aufgeteilt werden, wo Ähnliche Wetterverhältnisse vorhanden sind, für welche man die gleichen horizontalen Einstrahlungen, der bestehenden Wetterstationen, nehmen könnte, um eine qualitativ gute Energie-Signatur zu erhalten.

9.5.4 Programmidee

Das Ziel wäre, dass jemand, der seinen Wärmeenergieverbrauch kontrollieren möchte, mit seinen Wochenenergiewerten kommen könnte, diese in ein Programm eingibt und dann das Programm den Rest erledigen würde. Dass es ihm dann den zukünftigen Heizenergieverbrauch schätzen würde für das Jahr und die weiteren Vorteile der Energie-Signatur Darstellung, damit nützen könnte.

Dies wäre am besten realisierbar über das Internet, so dass man ein Passwort und ein Username erhält und somit, immer online seinen Heizenergieverbrauch kontrollieren könnte. Online zu arbeiten würde auch die Einbringung der aktuellen solaren Einstrahlung und Temperaturen, des Standortes des Gebäudes, extrem vereinfachen.

Bis man aber ein voll funktionierendes Programm auf den Markt bringen könnte, benötigt diese Idee, noch sehr viele weiterführende Studien, bis man wirklich alle Details, welche zu berücksichtigen sind, dazu analysiert hätte.

10 SCHLUSSBEMERKUNGEN

Das Resultat meiner Diplomarbeit erfüllt schliesslich die Anforderungen der Aufgabenstellung, da eine neue Darstellungsart mit einer neu definierten Meteovariabel (M) für die Energie-Signatur gefunden werden konnte. Die neue Darstellungsart beinhaltet nicht nur die Temperatur (T) sondern auch die Sonneneinstrahlung (G_h), welche wiederum in die horizontale- und die vertikale Südeinstrahlung aufgeteilt wird. Je nach Ausrichtung des Gebäudes, werden die einzelnen Einstrahlungen mit ihren jeweiligen Faktoren (κ_h, κ_{vs}) gewichtet, welche den stärkeren Einfluss haben.

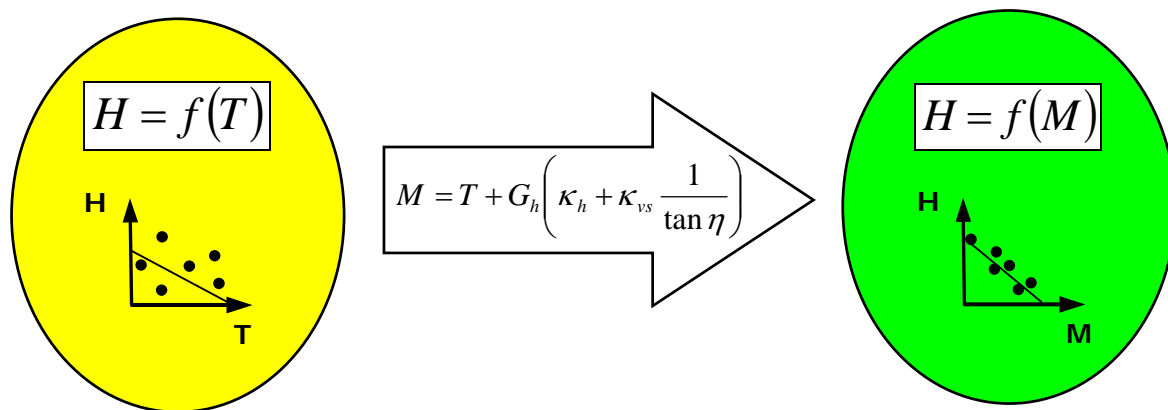


Abbildung 36: Die neue Darstellungsart mit der Aussentemperatur und der solaren Einstrahlung

Für ein paar vereinzelte Gebäude in der Simulation, konnten keine qualitativ akzeptable Energie-Signatur-Darstellungen erreicht werden. Wobei bei diesen Objekten die Heizenergie jeweils relativ klein war und man sich hier fragen muss ob hier ein solches Energiecontrolling überhaupt Sinn macht.

Man fand auch heraus, dass eine gewisse zeitliche Verschiebung der Berücksichtigung der solaren Einstrahlung, sich positiv auf die Energie-Signatur der modernen Gebäude auswirkt. Den diese weisen eine gewisse „Wärmespeicher-Trägheit“ auf, leider konnte kein nationaler Stundenwert für alle Standorte ermittelt werden, die Unterschiede sind zu gross.

Ein weiteres Problem war, dass man keinen Heizenergieverbrauch eines Jahres von einem moderneren Gebäude erhalten hatte, um damit die massive qualitative Verbesserung der Energie-Signatur aufzuzeigen. So konnte man nur den Hinweis darauf beweisen, indem man den positiven Effekt auf die Energie-Signaturen der älteren Gebäude feststellte, durch den Einbezug der Einstrahlung, da sich in diesen Energie-Signaturen die Linearität der Heizenergiepunkte verbesserte.

11 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Verlauf der Diplomarbeit	1
Abbildung 2: Beispiel einer Energiesignatur	2
Abbildung 3: Jahresheizenergieverbrauch für ein EFH 1980 und 2006, mit verschiedenen Hauptfassadenausrichtungen: Süd, Nord und West	3
Abbildung 4: Verringerung des Energiebedarfes eines EFH und MFH mit MINERGIE	4
Abbildung 5: Solarstrahlung (Global, Horizontal) in der Schweiz	4
Abbildung 6: bSol Gebäudeeingabe-Beispiel EFH (1980)	5
Abbildung 7: Heiz- und Kälteleistung Anzeige in bSol für ein Jahr	5
Abbildung 8: Älteres EFH (1980)	6
Abbildung 9: Modernes EFH (2006)	6
Abbildung 10: Heizenergie für den Monat Februar	7
Abbildung 11: Typisches Einfamilienhaus mit Flachdach	8
Abbildung 12: Typisches Mehrfamilienhaus	9
Abbildung 13: Front- und Seitenansicht unseres Mehrfamilienhauses	9
Abbildung 14: Ziel der neuen Darstellung	10
Abbildung 15: Höhen- und Einfallswinkel der Sonne, auf einer Fläche	11
Abbildung 16: Skizze um die Quadratsumme der Abstände zu erhalten	13
Abbildung 17: Quadratsummen des südlich gerichteten EFH 1980, 2006 in Sitten	14
Abbildung 18: Energie-Signatur eines südlichen EFH (2006), links mit der Einstrahlung G_h und rechts mit $G_{kh, kvs}$ dargestellt	14
Abbildung 19: Quadratsummenvergleich für die verschiedenen EFH	15
Abbildung 20: Quadratsummenvergleich für die verschiedenen MFH	16
Abbildung 21: Vergleich der Meteodaten der Standorte Sitten, Zürich und Montana	17
Abbildung 22: Quadratsummen des südlich gerichteten EFH aus Sitten mit Meteodaten von den Standorten Zürich und Montana	18
Abbildung 23: Quadratsummen des südlich gerichteten EFH aus Sitten mit Einstrahlung von den Standorten Zürich und Montana, Temperaturen aber von Sitten	18
Abbildung 24: Vergleich der horizontalen Globaleinstrahlung von Meteoronorm	19
Abbildung 25: Quadratsummen mit zeitlich verschobener Einstrahlung für ein modernes EFH aus Sitten, mit verschiedenen Ausrichtungen.	20
Abbildung 26: Quadratsummen mit zeitlich verschobener Einstrahlung für ein südlich gerichtetes modernes EFH aus Zürich und Montana	21
Abbildung 27: Ostansicht des Kollegiums Creusets	22
Abbildung 28: Optimale Energie-Signatur vom Kollegium Creusets	23
Abbildung 29: Quadratsumme der Energie-Signatur des Kollegium Creusets, in Funktion der Einstrahlung	23
Abbildung 30: Frontansicht des Werkhofs	24
Abbildung 31: Optimale Energie-Signatur vom Werkhof	24
Abbildung 32: Quadratsumme der Energie-Signatur des Werkhofs, in Funktion der Einstrahlung (G_h)	24
Abbildung 33: Südansicht des Sportcenters	25
Abbildung 34: Optimale Energie-Signatur des Sportcenters	26
Abbildung 35: Quadratsumme der Energie-Signatur des Sportcenters, in Funktion der Einstrahlung (G_h)	26
Abbildung 36: Die neue Darstellungsart mit der Aussentemperatur und der solaren Einstrahlung	28

12QUELLENVERZEICHNIS

Software: **bSol**, eine Software welche von der Energieabteilung an der HEVs in Sitten entwickelt wurde. (www.bsol.ch)

Internetseiten:

www.swissolar.ch

www.meteosuisse.ch

www.geneva-city.ch

www.dse.vd.ch

13 ANHANG

- Anhang 1: **Quadratsummen und Gewichtungsfaktoren mit der Einstrahlung $G_{K_h, K_{vs}}$**
- Anhang 2: **Vertikale Sonneneinstrahlungen an den drei Standorten: Sitten, Montana und Zürich**
- Anhang 3: **Darstellung für ein südgerichtetes EFH aus dem Jahr 2006, mit der Einstrahlung $G_{K_h, K_{vs}}$**

13.1 ANHANG 1

Quadratsummen und Gewichtungsfaktoren mit der Einstrahlung $G_{K_h, K_{vs}}$ für die Einfamilienhäuser und Mehrfamilienhäuser

Sitten

EFH		G(K_h, K_{vs})		
		Quadrat-summe	K_h	K_{vs}
Süd	1980	0.803	0.01	0.04
	2006	4.850	0.00	0.10
Nord	1980	0.222	0.03	0.00
	2006	0.633	0.06	0.01
West	1980	0.460	0.02	0.02
	2006	2.332	0.06	0.04

MFH		G(K_h, K_{vs})		
		Quadrat-summe	K_h	K_{vs}
Süd	1980	1.104	0.02	0.04
	2006	16.587	0.05	0.10
Nord	1980	0.128	0.02	0.00
	2006	0.490	0.05	0.01
West	1980	0.380	0.02	0.02
	2006	2.781	0.07	0.02

Zürich

EFH		G(K_h, K_{vs})		
		Quadrat-summe	K_h	K_{vs}
Süd	1980	0.527	0.02	0.04
	2006	2.442	0.01	0.08
Nord	1980	0.190	0.03	0.01
	2006	0.418	0.07	0.01
West	1980	0.363	0.03	0.02
	2006	0.850	0.07	0.03

MFH		G(K_h, K_{vs})		
		Quadrat-summe	K_h	K_{vs}
Süd	1980	0.531	0.01	0.04
	2006	3.343	0.00	0.08
Nord	1980	0.334	0.03	0.01
	2006	0.659	0.05	0.01
West	1980	0.334	0.03	0.01
	2006	1.585	0.07	0.01

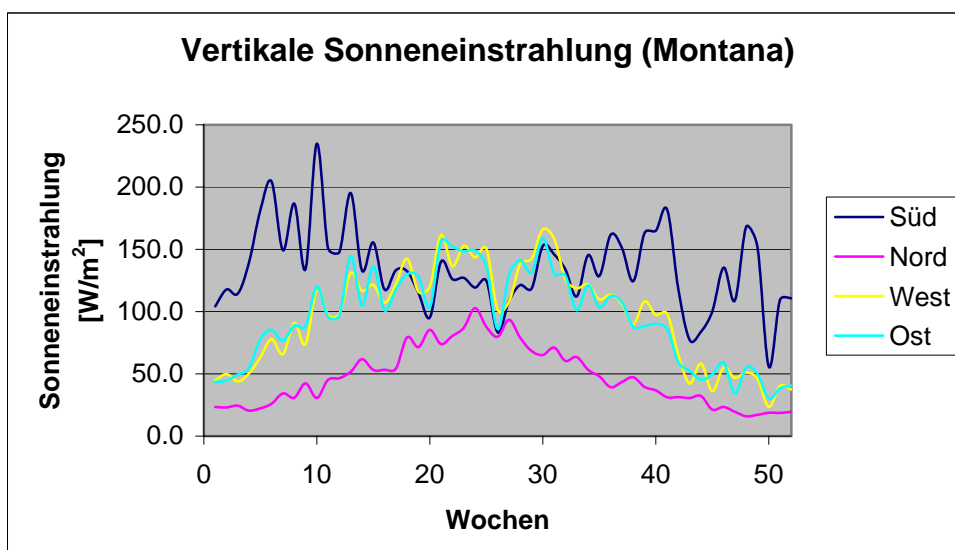
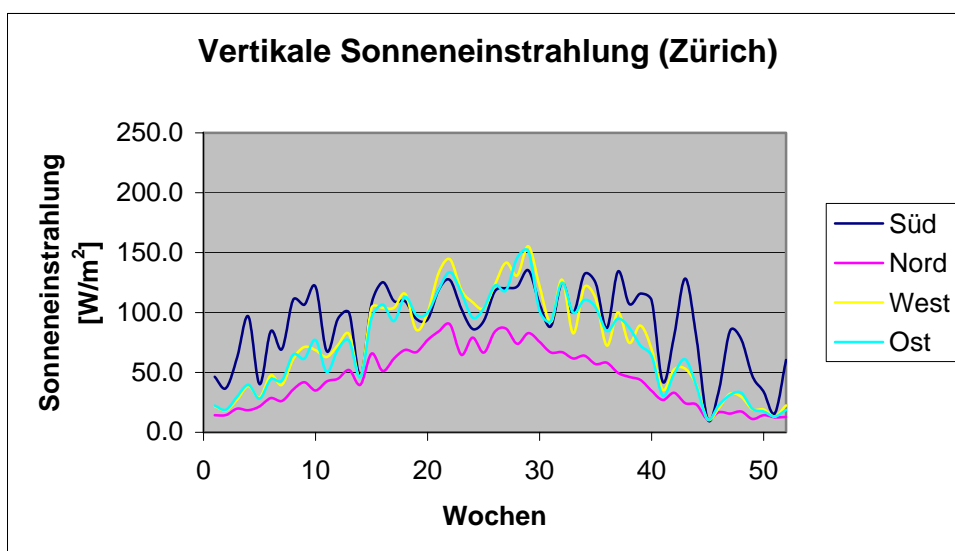
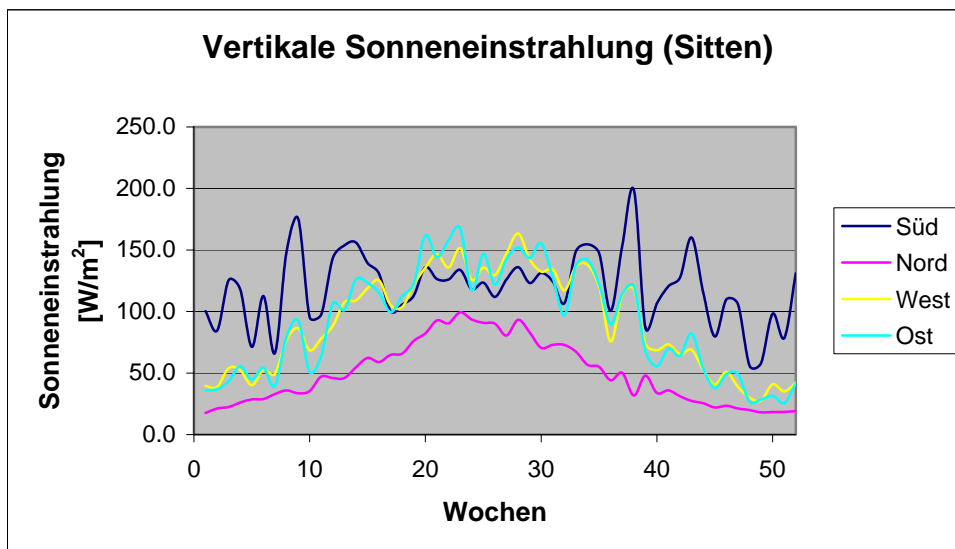
Montana

EFH		G(K_h, K_{vs})		
		Quadrat-summe	K_h	K_{vs}
Süd	1980	0.925	0.03	0.04
	2006	14.939	0.02	0.09
Nord	1980	0.234	0.03	0.00
	2006	0.822	0.07	0.00
West	1980	0.328	0.03	0.02
	2006	3.924	0.05	0.05

MFH		G(K_h, K_{vs})		
		Quadrat-summe	K_h	K_{vs}
Süd	1980	1.094	0.02	0.04
	2006	32.153	0.14	0.01
Nord	1980	0.177	0.02	0.00
	2006	1.695	0.04	0.00
West	1980	0.253	0.03	0.01
	2006	3.425	0.07	0.01

13.2 ANHANG 2

Vertikale Sonneneinstrahlungen an den drei Standorten: Sitten, Montana und Zürich



13.3 ANHANG 3

Darstellung für ein südgerichtetes EFH aus dem Jahr 2006, mit der Einstrahlung $G_{k_h, k_{vs}}$

